УДК 528.8.04

В.В. Гнатушенко [1], О.О. Кавац[2], Ю.О. Кібукевич [2]
[1]Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна
Україна, 49010, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72
[2]Національна металургійна академія України, Україна
Україна, 49600, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

УМОВИ ТА ОБМЕЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОБРОБКИ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО 3D МОДЕЛЮВАННЯ

V.V. Hnatushenko[1], O.O. Kavats[2], Y.O. Kibukevych[2]
[1]O. Honchar Dnepropetrovsk National University, Ukraine
Ukraine, 49010, Dnipropetrovsk, av. Gagarina, 72
[2]National Metallurgical Academy of Ukraine
Ukraine, 49600, Dnipropetrovsk, av. Gagarina, 4

CONDITIONS AND LIMITATIONS OF SATELLITE IMAGE INTELLECTUAL PROCESSING METHODS FOR THE FURTHER 3D MODELING

В.В. Гнатушенко [1], А.А. Кавац[2], Ю.А. Кибукевич [2]
[1] Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара, Украина
Украина, 49010, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72
[2]Национальна металлургическая академия Украины, Украина
Украина, 49600, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 4

УСЛОВИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Розглянуто та проаналізовано існуючі методи, способи і засоби розпізнавання космічних знімків, визначено їх особливості і недоліки з точки зору подальшого тривимірного моделювання територій забудови. На підставі результатів аналізу виявлено необхідність створення нових методів і алгоритмів виділення складних архітектурних об'єктів. Представлено математичний опис основних характерних ознак будівель та їх елементів (дахів).

Ключові слова: космічні зображення, класифікація, сегментація, розпізнавання, будівлі, форми та види дахів, 3D-моделі.

Reviewed and analyzed existing methods, ways and means of recognition of satellite images, defined by their features and drawbacks in terms of three-dimensional modeling of further development areas. Based on the results of the analysis revealed the need for new methods and algorithms for complex extraction of architectural objects. A mathematical description of the main characteristic features of the buildings and their elements (roof).

Key words: space images, classification, segmentation, recognition, building forms and types of roofs, 3D-models.

Рассмотрены и проанализированы существующие методы, способы и средства распознавания космических снимков, определены их особенности и недостатки с точки зрения дальнейшего трехмерного моделирования территорий застройки. На основании результатов анализа выявлена необходимость создания новых методов и алгоритмов выделения сложных архитектурных объектов. Представлено математическое описание основных характерных признаков зданий и их элементов (крыш).

Ключевые слова: космические изображения, классификация, сегментация, распознавание, здания, формы и виды крыш, 3D-модели.

Постановка проблеми

Сучасні засоби інтелектуальної обробки інформації відкривають великі можливості в різних сферах людської діяльності. Так, розширення сфер застосування картографічної інформації обумовлено зростанням можливостей геоінформаційних систем. За останні роки цифрові зображення, отримані за допомогою методів дистанційного зондування Землі набули важливого значення. Обробка таких знімків є одним з необхідних кроків при створенні тривимірних (3D) просторових моделей складних міських будівель з високим ступенем деталізації. 3D моделі міст забезпечують високу інтерпретацію даних, дають можливість найбільш точно передати інформацію про зміни певних об’єктів або місцевості, а також дозволяють вирішити ряд прикладних задач, які неможливо реалізувати за допомогою традиційних двовимірних карт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Часто розпізнавання аерокосмічних зображень і векторизація карт відбувається вручну. Однак, для ручної локалізації штучні об’єкти (зокрема, будівлі) досить складні і вимагають значної кількості точок для опису. У зв'язку з цим широко затребувані автоматичні і напівавтоматичні способи розпізнавання штучних об’єктів, які потребують участі оператора тільки для контролю процесу розпізнавання об'єктів тематичного шару. Однак, більшість пропонованих рішень засновані на геометричних і яскравісних перетвореннях цифрових знімків, до яких відносяться методи побудови контурів зображення, градієнтні методи і методи кластеризації [1], що застосовуються для сегментації супутникових зображень на тематичні однорідні області, які характеризуються недостатньою точністю і високими часовими витратами на обробку даних.

Особливо варто відзначити застосування нейронних мереж для обробки космічних знімків. Роботи, що ведуться в даному напрямку мають ряд переваг. Як правило, виявлені об’єкти нормалізуються і розпізнаються штучними нейронними мережами, які є компонентами програмної системи, що функціонує на кластерному обчислювальному пристрої. Сучасні нейронні мережі засновані на неокогнітроні. Однак неокогнітрон є дуже складною системою, що вимагає суттєвих обчислювальних ресурсів, реалізація моделей неокогнітрона на універсальних комп’ютерах є безперспективним завданням, до того ж процес навчання неокогнітрона є досить складним. Такі системи, як неокогнітрон, поки не здатні реалізувати оптимальне інженерне рішення сьогоднішніх проблем розпізнавання образів.

Загальне рішення задачі виявлення будівель полягає у виявленні даних (наприклад, ліній, кутів, форм, площин, тощо) з фотограмметричного зображення, а потім їх групування за геометричними ознаками (рис. 1).

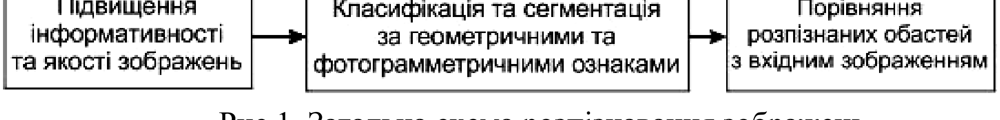


Рис.1. Загальна схема розпізнавання зображень

Через шуми або складові об’єкта деякі лінії або площини можуть бути відсутніми на зображенні, що ускладнює автоматичне виконання методів з мінімальними похибками. Також, суттєвою проблемою у розпізнаванні є те, що

більшість сучасних будівель мають форми, які не відповідають стандартним геометричним ознакам (рис. 2). У роботі [1] запропоновано автоматизований метод розпізнавання об'єктів за їх геометричними характеристиками. Метод поєднує в собі класифікаційний, контурний та граничний підходи до виділення об'єктів, але його доцільно використовувати до різночасових зображень та об'єктів, які мають прості геометричні форми. Автори роботи [2] наводять метод ідентифікації об'єктів на основі кластеризації, який передбачає утворення кластерів з локальними особливостями (наприклад, інтенсивність пікселів, текстура, геометричні ознаки), отриманих за допомогою різних методик виявлення ознак. Експериментальні результати показали, що метод дозволяє розрізняти лише прості типи дахів забудов (односхилий або плаский).



Рис.2. Приклади нестандартних форм сучасних будівель

Проаналізувавши сучасні методи розпізнавання, можна зробити висновок, що більшість методів не відповідають поставленій задачі розпізнавання будівель. У більшості випадків алгоритми розпізнавання не враховують складну геометрію дахів. Тому виникає потреба у розробці нового методу розпізнавання об'єктів складних міських будівель з подальшим 3D моделюванням.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Побудова якісних 3D моделей складних будівель напряму залежить від якості розпізнавання космічних знімків. Перш за все, важливим кроком є виділення границь та класифікація форм будівель. На сьогодні існує багато проблем у вирішенні задач розпізнавання будівель: геометричні та колірні спотворення, наявність шумів, вплив накладення сторонніх об'єктів, залежність від часу дня та погодних умов тощо. Саме тому особливого значення набуває розробка нового методу розпізнавання будівель, який дозволить зменшити похибки ідентифікації об'єктів на зображеннях для подальшої інтерпретації мультиспектральних зображень. Метою даної роботи є аналіз ефективності існуючих методів класифікації та розпізнавання різновидів будівель за цифровими космічними знімками.

Основна частина

Для якісного розпізнавання об'єктів важливе значення має просторова роздільна здатність вхідного мультиспектрального зображення. Як правило, на знімках зустрічаються спотворення різного характеру, які ускладнюють подальшу обробку: шуми, колірні та геометричні спотворення, тощо. Наведений у роботі [3] алгоритм підвищення інформативності та якості мультиспектрального зображення, дозволяє уникнути подібних проблем та прискорити час обробки. Отже, використання зазначеного алгоритму на попередньому етапі розпізнавання та 3D моделюванням є необхідним.

Традиційно, для розпізнавання фотограмметричних зображень використовують статистичні моделі класифікації, які можна контролювати (режим навчання) або не контролювати (режим без навчання). На рисунку 3 наведена загальна схема методів класифікації. Класифікації без навчання (Unsupervised) – це процес, при якому розподіл пікселів зображення відбувається автоматично, на основі аналізу статистичного розподілу яскравості пікселів. Слід зазначити, що перед початком класифікації невідомо скільки і яких об'єктів є на знімку, а після проведення класифікації необхідно дешифрування отриманих класів, щоб визначити, яким об'єктам вони відповідають. У свою чергу, при класифікації з навчанням (Supervised) відбувається порівняння значення яскравості кожного пікселя з еталонними. У результаті, кожний піксель відноситься до найбільш відповідного йому класу об'єктів.

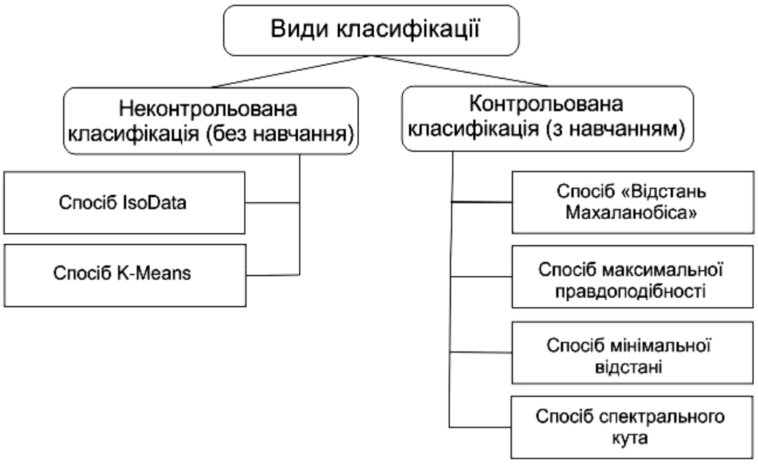


Рис. 3. Схема методів класифікації

Методи неконтрольованої класифікації, у порівнянні з контрольованою, мають важливі недоліки. По-перше, часто виникає невідповідність створених класів до заданих, по-друге – обмеження у контролюванні класів та їх властивостей. Тому для розпізнавання складних об’єктів частіше використовують методи контрольованої класифікації, яка дозволяє максимально точно виділити задані класи. Усі методи контрольованої класифікації, як правило, мають послідовність операцій:

1. Визначення навчальних областей.
2. Вилучення об’єктів.
3. Класифікацію зображення.

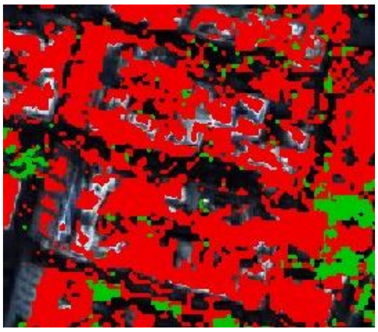
У роботі дослідження роботи методів класифікації проводились на первинному мультиспектральному зображенні з супутника WorldView-2 (рисунок 4). На рисунку 5 наведено результати роботи методів контрольованої класифікації. Слід зазначити, що будь-яка класифікація з навчанням є більш трудомісткою, а якість класифікації залежить від якості вибраних навчальних областей. Зазвичай вибирають дві або три навчальних області. Чим більше обрано навчальних ділянок, тим кращими будуть отримані результати. Ця процедура забезпечує як точність класифікації, так і правдоподібність інтерпретації результатів.

Контури будівель забезпечують первинну інформацію про забудови, вказуючи на їх точне положення та форму. Існуючі методи розпізнавання, при визначенні границі будівель, використовують колірний контраст між дахом будівлі та землею або навколишніми об’єктами. Проте, дуже часто в оптичній зйомці місцевості, асфальтові дороги можуть мати той же колір, що і дахи будівель. Це може призвести

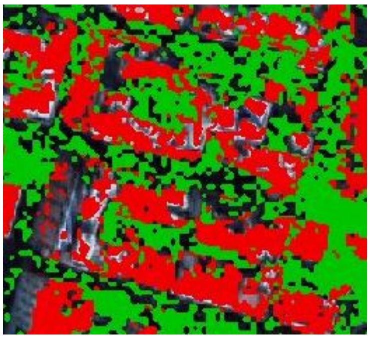
до спектрального «змішування» будівель та сторонніх об’єктів. Аналогічна проблема виникає, коли будівля знаходиться в оточенні дерев. У результаті, як правило, це призводить до низької точності розпізнавання контурів дахів будівель та ускладнює подальшу побудову 3D моделей.



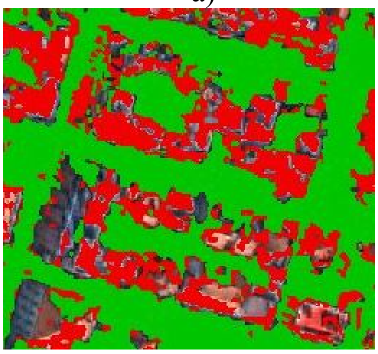
Рис. 4. Фрагмент первинного мультиспектрального зображення з супутника WorldView-2



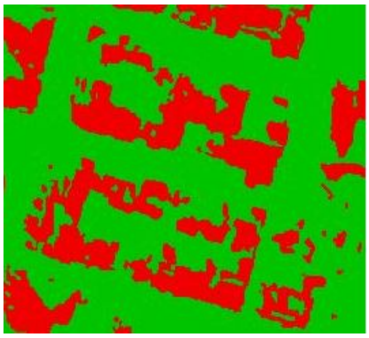
а)



б)



в)



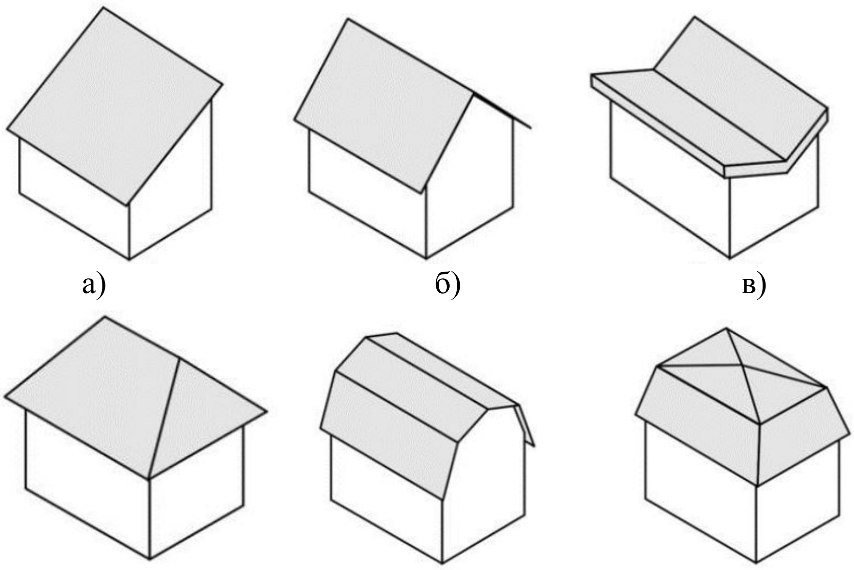
г)

■- клас «Buildings»; ■- клас «Trees»

Рис. 5. Зображення після контрольованої класифікації:
а) спосіб спектрального кута; б) спосіб «відстані Махаланобіса»;
в) спосіб максимальної правдоподібності; г) спосіб мінімальної відстані

Незмінною геометричною ознакою будівлі є її форма, яка слабо залежить від умов зйомки. Зазвичай, формам будівель відповідають контури дахів. Основні форми та види дахів наведені на рисунку 6. Залежно від схилу скатів, дахи бувають скатні (більше 10%) і пласкі (до 2,5%). В індивідуальному житловому будівництві, як правило, використовуються скатні і пологоскатні дахи. За формами дахи можуть бути односхилими, двосхилими, трьох, чотирьохскатними або багатосхилими [4].

Односхилі дахи використовуються переважно в нежитлових приміщеннях, таких як тераси та веранди. Двосхилий дах – покриття, що складається з двох площин та має схил по периметру будівлі, характерний для невеликих індивідуальних будинків. Шатровий тип даху складається з чотирьох або більше однакових скатів, що сходяться в одній точці. Кожен скат має трикутну форму. Такий дах підходить для будівель, що мають квадратний план або план у вигляді правильного багатокутника. Якісне розпізнавання типових дахів забезпечує надійну основу для побудови комплексних 3D моделей.



а) б) в) г) д) е)

Рис. 6. Приклади основних видів дахів будівель:
а) односхилий дах; б) двосхилий дах; в) дах «Метелик»; г) шатровий дах;
д) вальмовий дах; е) мансардний дах

Ще одним важливим параметром для автоматичного розпізнавання міських будівель є висота. Технічно, будівля не має постійної «висоти», оскільки дах не може бути абсолютно пласким [5]. Крім того, більшість супутників мають обмежені можливості виявлення подібних параметрів і часто можуть оцінити лише середню висоту для кожної будівлі. Тим не менш, середня висота будівлі забезпечує вагому інформацію, що приблизно описує об’єм будинку. Беручи до уваги постійну висоту, можна вилучити контури будівлі та побудувати наближену 3D-модель складної будівлі. Таким чином, висота будівлі є важливою компонентою для переходу від двовимірної моделі будівлі до її 3D-моделі. Висоту будівлі можна отримати з даних дистанційного зондування за допомогою різних методів. Відношення висоти будівлі до довжини тіні є постійним на зображенні і залежить від зенітного кута Сонця і у більшості випадків вказує на висоту. Якщо виміряти деякий об'єкт та довжину його тіні, то, відповідно до цих параметрів, можна розрахувати висоти інших будівель за виразом (1):

$$\tan\theta = \frac{s_1}{h_1} = \frac{s_0}{h_0}, \tag{1}$$

де θ – зенітний кут Сонця, а h_0 і s_0 – висота найближчого об'єкту до будівлі та довжина його тіні. Проте, треба взяти до уваги, що тіні можуть змінюватись залежно від позиції Сонця та у зв'язку з особливостями навколишнього середовища [6-8]. При

розпізнаванні, складні будівлі на зображені ідентифікуються за допомогою шаблонів відбитків будівель. Поєднання ознак об’єктів та інформації яскравості сприяє підвищенню точності відповідностей. Однак, не існує відповідного параметру для визначення різниці яскравості між будівлею та її фоном. Дахи не обов'язково мають постійний колір, адже він може змінюватися протягом дня або через природні умови. Також, колір дахів може співпадати з кольором фону, що ще більше ускладнює вирішення задачі розпізнавання. Для знаходження дахів будівель на зображенні, шаблон рухається по краю зображень для пошуку оптимального збігу. Коефіцієнт зіставлення шаблону з еталонним зображенням є відношенням довжини краю перетину до загальної довжини краю шаблона і розраховується за наступним виразом:

$$r = \frac{|E \cap T|}{|T|}, \qquad (2)$$

де T – множина крайових пікселів шаблону, E – множина крайових пікселів на отриманому зображенні, $\cap$ – перетин двох множин, | | – потужність (кількість елементів) множини.

Похибки при розпізнаванні будівель можуть бути викликані багатьма факторами, включаючи тіні, згладжування обмежень в алгоритмах зіставлення або невідповідність дуже високих будівель. Для того, щоб поліпшити точність розпізнавання, існуючі методи залучають дані двомірних карт. Методологія вилучення даних будівлі може варіюватися від простої до складної, від 2D до 3D. Використання характеристик (колір, форма або висота) для відокремлення будівлі від навколишнього середовища допоможе ідентифікувати будівлі на зображенні. З включенням додаткових зображень та фотограмметричних знімків з надвисоким просторовим розрізненням деталі на дахах можуть бути відновлені. Після проведення процедури розпізнавання, враховуючи всі вищеописані геометричні ознаки та характеристики, можна переходити до побудови 3D- моделі забудови.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Останні досягнення в галузі інтелектуальної обробки даних сприяють розробці нових і вдосконаленню існуючих методів розпізнавання будівель. Більшість з цих методів мають суттєві обмеження в автоматичному вилученні інформації. Ускладнення розпізнавання може виникнути у разі наявності щільних забудов. Окрім того, існують обмеження, пов'язані з формою, кольором і розміром будівель, що ускладнюють обробку зображень. Ефективність та стійкість методів розпізнавання космічних зображень дозволяє заощадити час і трудові витрати. Наші подальші дослідження будуть присвячені розробці нової технології розпізнавання мультиспектральних зображень високого просторового розрізнення з подальшим 3D моделюванням складних будівель.

Література

1. Сущевський Д.В. Геометричні моделі ідентифікації та візуалізації змін штучних об’єктів земної поверхні за різночасовими зображеннями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. наук: спец. 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка» / Д.В. Сущевський. – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара, 2011. – 18 с.
2. Partovi, T., Bahmanyar R., Krauß, T., Reinartz, P. (2014). Building roof component extraction from panchromatic satellite images using a clustering-based method. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3.

3. Гнатушенко, В.В. Інформаційна технологія підвищення просторової розрізненості цифрових супутникових зображень на основі ICA- та вейвлет- перетворень / В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – 2013. – № 771. – с. 28-32.
4. Классификация крыш. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mukhin.ru/stroysovet/kr1/1_01.html.
5. Chuiqing Zeng, Jinfei Wang. (2014) Automated Building Information Extraction and Evaluation from High-resolution Remotely Sensed Data // The University of Western Ontario, Electronic Thesis and Dissertation Repository.
6. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. (2008). Remote sensing and image interpretation // Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
7. Irvin, R.B., & McKeown, D.M., (1989). Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 19(6), 564-575.
8. Shao, Y., Taff, G.N., Walsh, S.J. (2011). Shadow detection and building-height estimation using IKONOS data // International Journal of Remote Sensing, 32(22), 929-944.

Literatura

1. Suschevskyy D. Geometric patterns of identification and visualization of artificial objects changes the earth's surface riznochasovymy images: Thesis. 05.01.01 "Applied geometry, engineering graphics" / D. Suschevskyy. - Dnepropetrovsk: DNU O. Honchar, 2011.
2. Partovi, T., Bahmanyar R., Krauß, T., Reinartz, P. (2014). Building roof component extraction from panchromatic satellite images using a clustering-based method. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3.
3. Hnatushenko V. Information technology increase spatial fragmentation of digital satellite images based on wavelet transformation and ICA / V. Hnatushenko, O. Kavatsiv // Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic", a series of "Computer Science and Information Technology." – 2013. – № 771., 28-32 p.
4. Classification of the roof. – [Electronic resource]. – Access: http://www.mukhin.ru/stroysovet/kr1/1_01.html.
5. Chuiqing Zeng, Jinfei Wang. (2014) Automated Building Information Extraction and Evaluation from High-resolution Remotely Sensed Data // The University of Western Ontario, Electronic Thesis and Dissertation Repository.
6. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. (2008). Remote sensing and image interpretation // Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. p.
7. Irvin, R.B., & McKeown, D.M., (1989). Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 19(6), 564-575.
8. Shao, Y., Taff, G.N., Walsh, S.J. (2011). Shadow detection and building-height estimation using IKONOS data // International Journal of Remote Sensing, 32(22), 929-944.

RESUME

V.V. Hnatushenko, O.O. Kavats, Y.O. Kibukevych

Conditions and limitations of satellite image intellectual processing methods for the further 3D modeling

The paper discusses and analyzes the existing methods, ways and means of recognition of satellite images, defined by their features and shortcomings in terms of the further three-dimensional modeling of territories development. Based on the results of the analysis revealed the need for new methods and algorithms for complex extraction of architectural objects. A mathematical description of the main characteristic features of the buildings and their elements (roof). It is shown that the existing methods of clustering has a relatively simple implementation, but require large resource costs. Also, the quality of clustering is not enough after the first pass of the algorithm. Often, to re-clustering to increase the accuracy of object classes selection.

Efficiency and sustainability of methods of automated recognition of satellite images allows to save time and labor costs to provide other applications useful image database.

В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац, Ю.О. Кібукевич

Умови та обмеження методів інтелектуальної обробки космічних зображень для подальшого 3D моделювання

У роботі розглянуто та проаналізовано існуючі методи, способи і засоби розпізнавання космічних знімків, визначено їх особливості і недоліки з точки зору подальшого тривимірного моделювання територій забудови. На підставі результатів аналізу, виявлено необхідність створення нових методів і алгоритмів виділення складних архітектурних об'єктів. Представлено математичний опис основних характерних ознак будівель та їх елементів (дахів). Показано, що існуючі методи кластеризації наділені порівняльною простотою реалізації, але вимагають великих ресурсних витрат. Також, якість кластеризації буває недостатньою після першого проходження алгоритму. Найчастіше необхідна повторна кластеризація для підвищення точності виділення класів об'єктів.

Ефективність та стійкість методів автоматизованого розпізнавання космічних знімків дозволяє заощадити час і трудові витрати, щоб забезпечити інші області застосування зображень корисною базою даних.

В.В. Гнатушенко, А.А. Кавац, Ю.А. Кибукевич

Условия и ограничения методов интеллектуальной обработки космических изображений для последующего 3D моделирования

В работе рассмотрены и проанализированы существующие методы, способы и средства распознавания космических снимков, определены их особенности и недостатки с точки зрения дальнейшего трехмерного моделирования территорий застройки. На основании результатов анализа выявлена необходимость создания новых методов и алгоритмов выделения сложных архитектурных объектов. Представлено математическое описание основных характерных признаков зданий и их элементов (крыш). Показано, что существующие методы кластеризации обладают сравнительной простотой реализации, но требуют больших ресурсных затрат. Также качество кластеризации бывает недостаточным после первого прохождения алгоритма. Зачастую необходима повторная кластеризация для повышения точности выделения классов объектов.

Эффективность и устойчивость методов автоматизированного распознавания космических снимков позволяет сэкономить время и трудовые затраты, чтобы обеспечить другие области применения изображений полезной базой данных.

Надійшла до редакції 30.08.2015

